

# Лабораторное моделирование взаимодействующих встречных потоков плазмы в магнитном поле диполя

Ефимов Михаил Александрович<sup>1,2</sup>

Шайхисламов Илдар Фаритович<sup>2</sup>, Посух Виталий Георгиевич<sup>2</sup>, Березуцкий Артём Григорьевич<sup>2</sup>,  
Чибранов Алексей Алексеевич<sup>1,2</sup>, Руменских Марина Сергеевна<sup>2</sup>, Захаров Юрий Петрович<sup>2</sup>,  
Бояринцев Эдуард Леонидович<sup>2</sup>, Мирошниченко Илья Борисович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет

<sup>2</sup>Институт лазерной физики СО РАН

Шайхисламов Илдар Фаритович

[mikle3496@gmail.com](mailto:mikle3496@gmail.com)

В лабораторном эксперименте с целью исследования процессов, которые могут протекать в магнитосфере горячих экзопланет, моделируется взаимодействие лазерной плазмы с фоновыми плазменными потоками в магнитном поле диполя [1-2]. Величина момента магнитного диполя равна  $5 \cdot 10^5$  Гс\*см<sup>3</sup>, основная компонента дипольного поля – Н. Положительный сигнал Н-компоненты магнитного зонда соответствует усилению поля диполя и свидетельствует о формировании магнитосферы.

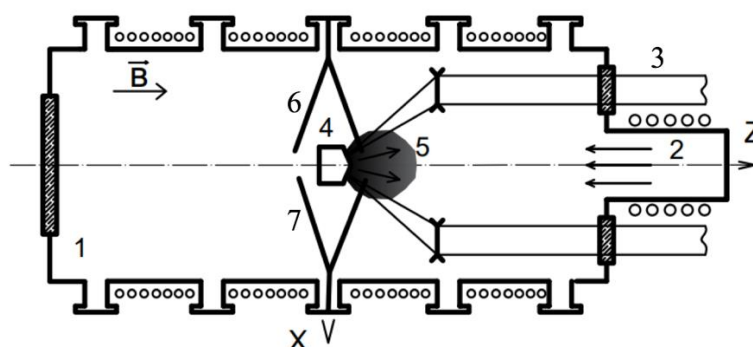


рис.1. Общая схема эксперимента. 1 – вакуумная камера ( $2 \cdot 10^{-6}$  Торр); 2 – источник фоновой плазмы; 3 – излучение CO<sub>2</sub> лазера (300 Дж); 4 – диполь вместе с мишенями (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>); 5 – поток лазерной плазмы; 6, 7 – магнитные зонды и зонды Ленгмюра.

В данном эксперименте магнитосфера вокруг магнитного диполя сформирована потоком плазмы сгенерированного тета-пинчем. Лазерное излучение фокусируется на пару мишеней расположенных на корпусе диполя, так как генерируемая лазерная плазма достаточно энергична, то она прорывается через дипольное магнитное поле и пролетает через фоновую плазму на большие расстояния, при этом увлекая за собой магнитное поле диполя, унося его далеко за пределы магнитосферы.

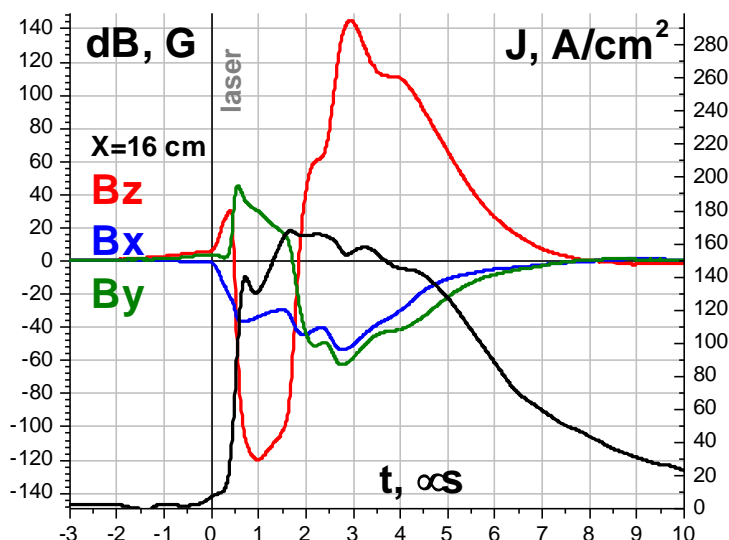


рис.2. Осциллограммы различных компонент магнитного поля (цветные кривые) и потока плазмы, измеренные при взаимодействии магнитного диполя с лазерной плазмой. Лазерная плазма создавалась в нулевой момент времени на мишени, расположенной на расстоянии 3 см от центра диполя.

В данной работе большое внимание уделялось физическим процессам, благодаря которым лазерная плазма увлекает за собой магнитное поле. Анализ магнитных сигналов получаемых с зондов, устанавливаемых

на расстояниях 5-25 см от центра диполя, показал, что поток фоновой плазмы формирует вокруг диполя магнитосферу масштабом  $\sim 20$  см. Пролет лазерной плазмы через эту магнитосферу показывает необычные магнитные возмущения. Также было проверено что электрические и магнитные зонды, установленные на расстоянии 60 см от диполя, показывают тот же эффект приноса потоком лазерной плазмы в замороженное дипольное поле как и в предыдущих экспериментах [3-4]. Одной из обнаруженных особенностей является значительная генерация компоненты, перпендикулярной исходному дипольному полю, а также направлению потока плазмы. Предварительный вывод проведённого эксперимента говорит о том, что это вероятно связано с проявлением Холловских или двухжидкостных эффектов, на масштабе ионно-плазменной длины (при меньшей концентрации), когда электроны и ионы могут двигаться по существенно разным линиям тока.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 18-12-00080, проектов РФФИ 18-29-21018 и 19-02-00993, а также в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А17-117021750017-0).

Список публикаций:

- [1] Antonov V. M., et al. // *The Astrophysical Journal* 2013. V. 769. P. 28
- [2] Khodachenko M. L., et al. // *The Astrophysical Journal* 2015. V. 813. P. 50
- [3] Shaikhislamov I. F. et al. // *Plasma Physics Reports*. 2015. V. 41. PP. 399-407.
- [4] Shaikhislamov I. F. et al. // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. 2016. V. 58. P. 115002.

## Локальные магнитные измерения в винтовой магнитной ловушке СМОЛА

**Ломов Константин Андреевич**

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*

Судников Антон Вячеславович, к.ф.-м.н.

[k.lomov@g.nsu.ru](mailto:k.lomov@g.nsu.ru)

Одной из новейших идей по улучшению параметров удержания плазмы в открытых магнитных ловушках является концепция подавления продольных потерь из ловушки за счёт динамического многопробочного удержания винтовыми пробками с управляемым вращением плазмы [1]. Для экспериментальной проверки этой концепции в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН была создана установка СМОЛА (рис. 1а), состоящая из входного расширителя с источником плазмы, транспортной секции с прямым и винтовым соленоидами и выходного расширителя с радиально сегментированным плазмодриёмником [2]. Основные параметры установки: плотность плазмы  $n_i \sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , электронная температура плазмы  $T_e \sim 5 \text{ эВ}$ , ведущее магнитное поле в винтовой секции  $B_{\text{max}} = 0,1 - 0,3 \text{ Тл}$ , радиальное электрическое поле до  $E_r \sim 100 \text{ В/см}$ , радиус плазмы  $r \sim 5 \text{ см}$ , средняя по сечению глубина перепада магнитного поля вдоль силовой линии  $R_{\text{mean}} = 1,5 - 2$ . В ходе первой серии экспериментов на СМОЛА были подтверждены основные предположения концепции: подавление аксиального потока плазмы и пинч-эффект в плазменном шнуре [3].

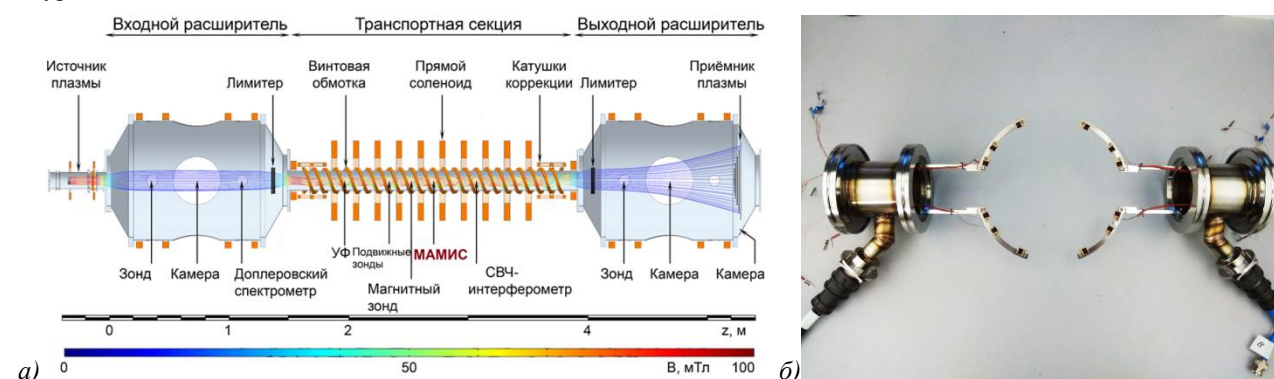


рис. 1. а) Схема установки СМОЛА. б) Фотография многоканальной азимутальной магнитной измерительной системы перед монтажом в установку.

При исследовании структуры магнитного поля в транспортной секции установки одиночными магнитными зондами было обнаружено возмущение азимутальной компоненты поля на частоте около 20 кГц. При включении винтового соленоида частота возмущения возрастает приблизительно в 1,2 раза. Для более подробного изучения наблюдаемого эффекта разработана многоканальная азимутальная магнитная измерительная система из 12 магнитных зондов внутри вакуумной камеры (катушки длиной 5 мм и диаметром 5 мм), распределённых по азимутальной координате и отстоящих на 70 мм от оси установки (рис. 1б).